بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

# بهینه سازی عملکرد حسگرهای اپتیکی فرابنفش با استفاده از نانوذرات اکسید سیلیسیوم

**مریم نصراصفهانی، دکتر شهاب نوروزیان و دکتر بیژن غفاری**

**دانشکده فیزیک،دانشگاه علم و صنعت ایران**

**چکیده – در این پژوهش نانوذرات اک سید سیلیـ سوم بر روی لایه نازک اک سید روی به منظور بهینه سازی آ شکار سازهای نوری فرابنفش نوع MSM، رسوب داده شده اند. نانوذرات اکسید سیلیسوم با اندازه بین ۲۰تا۳۰ نانومتر به روش غوطه وری بر روی لایه ی نازک اکسید روی رسوب داده شده است. جهت ساختارسنجی نمونه ها ازآزمایش هایی مانند طیف سنجی فرابنفش-مرئی (UV-vis) و ساختارسنجی میکروسکوپ الکترونی استفاده شده است. نتایج حاکی ازافزایش جذب و کارایی بهتر حسگرهای اپتیکی فرابنفش بوده که می تواند درطراحی آشکارسازهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد.**

کلید واژه- آشکارساز فرابنفش، اکسیدروی، اکسیدسیلیکون، جذب نوری، نانوذره.

# Optimization of UV photodetectors, utilising $SiO_2$ nano-particles

Maryam Nasr-Esfahany, Shahab Norouzian Alam *and Bijan Ghafary**

Physics Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

*sh.norouzian@gmail.com * * ghafary@iust.ac.ir

Abstract- In this work, $SiO_2$ nanoparticles have been used in to modify the surface structure, in order to optimize the functionality of the ZnO based MSM UV photodetectors. The diameter of $SiO_2$ **nanoparticles were are 20-30 nanometers and deposited on ZnO thin film using scooping transfer technique. For characterization of the samples UV-Vis spectroscopy and SEM were used. the results indicated that the absorption and efficiency of optical UV sensor increases. These results can be very useful for design and utilization of industrial photodetectors.**

Keywords; Nanoparticles, Optical Absorption, Silicon Oxide, UV Photodetector, Zinc Oxide,



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

## مقدمه

حسگراپتیکی، قطعه الکترونیکی است که نور یا تغییر نور یا اشعه نور را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند[۱].

برای ساخت حسگرهای نوری فرابنفش نیاز به مواد مناسب داریم که محدوده حساسیت به نور و نوار انرژی آن‌ها متناسب با نور فرودی فرابنفش باشد، موادی نظیر اکسید روی.

اکسید روی به عنوان یک نیمه رسانای شفاف به نور مرئی و پرکاربرد، یکی از مهم‌ترین نیمه رساناهای ترکیب II و VI است که با گاف انرژی مستقیم حدود ۳/۳۷ eV در دمای اتاق و با انرژی بستگی اکسایتون ۶۰ meV، برای استفاده در نسل جدید قطعات اپتوالکترونیکی مناسب است [۲]. شفافیت بالا در بازه‌ی طول موج های مرئی، اکسیدروی را به منظور استفاده در آشکارکنندگی در محدوده فرابنفش با اهمیت کرده است [۳].

برای بهبود کارایی حسگرهای اپتیکی روش‌های متعددی وجود دارد؛ بعنوان مثال افزودن ناخالصی به ماده پیش فرض [۴]. موارد دیگری نظیر افزودن آلومینیوم به اکسید روی یک تکنیک برای بهبود خواص اپتوالکتریکی لایه های نازک است. درواقع با افزایش ناخالصی عبوردهی لایه نازک و درنهایت جذب بیشتر فوتون اتفاق می‌افتد [۵],[۴].

راه دیگر برای بهبودکارایی حسگرهای فرابنفش استفاده از فیلترهای اپتیکی است. درواقع با استفاده از لایه های ضدبازتاب (AR) می‌توان کاهش بازتاب سطحی، افزایش بازتاب داخلی و افزایش جذب فوتون در ناحیه UV داشت. لایه AR مبتنی بر لایه نازک فقط در طول موج های خاص بسته به ضخامت و طول موج لایه می‌تواند باشد [۶]. زمانی‌که ابعاد نانوساختار کوچکتر از طول‌موج برخوردی باشد نور فرودی جذب شده و فرایند انعکاس چندگانه داخلی رخ می‌دهد و نهایتا جذب نور با استفاده از سطح فتودیود افزایش می‌یابد [۷].

یکی دیگر از تکنیک هایی که برای بهبود کارایی حسگرهای فرابنفش استفاده می‌شود، ایجاد تغییرات ساختاری در سطح لایه است. استفاده از سطوح مختلف مانند: کروی یا هرمی یا مکعبی در مقایسه با زمانی که از سطوح تخت استفاده شده، کارایی حسگر را بهبود می بخشد [۶].

روش دیگر استفاده از نقطه های کوانتومی می‌باشد (QD). به طورکلی نقطه های کوانتومی به نانوکریستال هایی گفته می شود که رفتار کوانتومی از خود بروز می‌دهند .زمانی‌که از پوشش هایی با QD استفاده میشود، شاهد افزایش بیشترجذب نور UV هستیم [۸].

## مواد و روش

در ابتدا لایه نازک اکسید روی (ZnO) به ضخامت ۳۰۰ نانومتر به روش کندوپاش مگنترونی بر روی زیرلایه اکسید آلومینیوم لایه نشانی شده است. لایه نشانی در دمای محیط و با توان ۴۰ وات انجام شده است. فیلم های تهیه شده در مدت زمان ثابت ۶۰ دقیقه و در دماهای ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به منظور بهبود سطح و خواص نوری اکسید روی در کوره الکتریکی در محیط هوا بازپخت شده اند. پس از آن با استفاده از نانوذرات اکسید سیلیسیوم به اندازه ۲۰تا۳۰ نانومتر به روش غوطه وری بر روی ZnO نشانده شده است. در ابتدا به منظور مشاهده تشکیل لایه نانوذرات، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شده است. بعد از آن به منظور بررسی اثر نانوذرات بر عملکرد آشکارساز در قبل و بعد از رسوب نانوذرات، طیف جذبی و عبوری و بازتابی لایه در نواحی طول موج های مرئی و فرابنفش به روش طیف سنجی اندازه گیری شده است. و آزمایش جریان ولتاژ (I-V) برای بررسی جریان نوری و



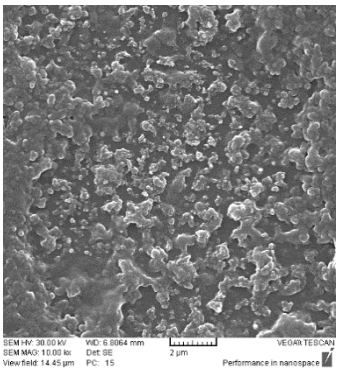
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

جریان تاریک در قبل و بعد از رسوب نانو ذرات انجام شده است.

## نتایج و بحث

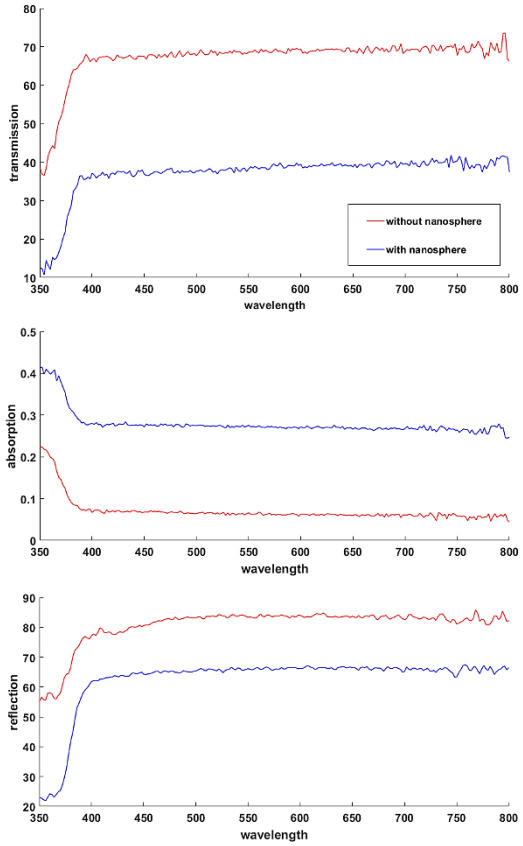
درشکل۱، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مربوط به تشکیل نانوذرات اکسید سیلسیوم بر روی اکسید روی نشان داده شده است. تصویرSEM نشان می‌دهد که نانوذرات $SiO_2$ با اندازه ذرات حدودا ۲۰ تا ۳۰ نانومتر کنارهم بر روی زیرلایه رسوب کرده اند.



شکل۱:تصویرSEM از نانوذرات رشد یافته با استفاده از روش غوطه‌وری

ضریب شکست $SiO_2$، برابر با ۱/۴۸ است و ما بین هوا و ZnO می‌باشد. به همین دلیل نور فرودی نسبت به زمان عدم وجود نانوکره های $SiO_2$ بیشتر وارد ZnO شده و در نتیجه جذب نور فرودی در آن افزایش می‌یابد. دلیل دیگراستفاده از نانوذرات $SiO_2$، کروی شکل بودن آن‌هاست که باعث تغییر جهت نور شده و نور با زاویه ای کوچکتراز ۹۰ درجه به ZnO وارد می‌شود و باعث افزایش طول مسیر نوری درون لایه شده است.

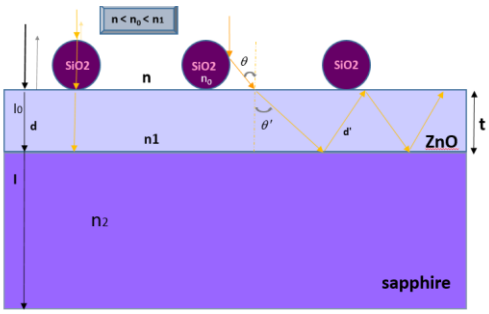
درشکل۲؛ طیف عبوری، جذبی و بازتابی لایه قبل و بعد از انباشت نانوذرات نشان داده شده است که حاکی از افزایش جذب وکاهش انعکاس نور فرودی در بعد از رسوب نانوذرات اکسید سیلیسیوم می‌باشد.




شکل۲:طیف عبوری، جذبی و بازتابی در قبل و بعد از نانوذرات اکسیدسیلیسیوم

اگر $n_1$و$n$ به ترتیب ضریب شکست $SiO_2$ با مقدار ۱/۴۸ و ZnO با مقدار۱/۷۳باشد؛ بنا برقانون اسنل:

$$n_1 \sin\theta' = n \sin\theta \qquad (۱)$$




شکل۳: شماتیکی از نانوذرات SiO2 بر روی لایه نازک ZnO و چگونگی نور فرودی بر آن‌ها.

به دلیل بزرگ‌تر بودن ضریب شکست ZnO $\sin\theta' > \sin\theta$ درنتیجه $\theta' > \theta$ است.



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

طبق رابطه (۲) شدت نور عبور یافته برابراست با:

$$I = I_0\, e^{-\alpha t} \qquad (۲)$$

که t و$\alpha$ به ترتیب ضخامت و ثابت جذب ماده است.

بدون حضور نانوکره‌های $SiO_2$ نور مسیری به طول d را می‌پیماید و باحضور نانوکره‌ها مسیر طی شده‌ی نور'd می‌باشد. شدت نور عبوری که در مسیر d طی می‌شود برابر با:

$$I_1 = I_0\, e^{-\alpha d} \qquad (۳)$$

وشدت نور عبوری که در مسیر 'd طی می‌شود برابر با:

$$I_2 = I_0\, e^{-\alpha d'} \qquad (۴)$$

طبق شکل (۳) اگر'd طول مسیر نوری بعد از تغییر زاویه نور و d طول مسیر نور با زاویه عمود باشد(حالتی که عدم حضور نانوکره ها می‌باشد)، d'>d است، پس $I_2>I_1$ است.

بنا بر رابطه‌ی (۵) :

$$A+R+T=1 \Rightarrow A=1-(R+T) \qquad (۵)$$

نتیجه گرفته می‌شود که با کاهش انعکاس و عبور نور فرودی میزان جذب و نور منتقل شده به اکسیدروی افزایش یافته است.

## نتیجه گیری

نتایج این پژوهش به خوبی نشان می‌دهد که با انباشت نانوکره های اکسید سیلیسیوم بر روی سطح اکسید روی جذب وانعکاس نور فرودی به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. این نتایج می‌تواند به بهبود عملکرد در آشکارسازهای نوری فرابنفش و در نتیجه طراحی نمونه های کاربردی و صنعتی آن ها کمک کند.

## مرجع‌ها

[1] T. Zhai et al., “A comprehensive review of one-dimensional metal-oxide nanostructure photodetectors,” Sensors, vol. 9, no. 8, pp. 6504–6529, 2009.

[2] C. B. Ong, L. Y. Ng, and A. W. Mohammad, “A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 81, no. August 2017, pp. 536–551, 2018.

[3] M. Pirhashemi, A. Habibi-Yangjeh, and S. Rahim Pouran, “Review on the criteria anticipated for the fabrication of highly efficient ZnO-based visible-light-driven photocatalysts,” J. Ind. Eng. Chem., vol. 62, pp. 1–25, 2018.

[4] B. Efafi, S. S. Mousavi, M. H. M. Ara, B. Ghafari, and H. R. Mazandarani, “A method for optimizing the electrical conductivity of Al:ZnO TCO films,” Mater. Lett., vol. 195, no. 3, pp. 52–54, 2017.

[5] N. Boonyopakorn, R. Rangkupan, and T. Osotchan, “Preparation of aluminum doped zinc oxide targets and RF magnetron sputter thin films with various aluminum doping concentrations,” Songklanakarin J. Sci. Technol., vol. 40, no. 4, pp. 824–830, 2018.

[6] Y. F. Makableh, M. Al-Fandi, M. Khasawneh, and C. J. Tavares, “Comprehensive design analysis of ZnO anti-reflection nanostructures for Si solar cells,” Superlattices Microstruct., vol. 124, no. August, pp. 1–9, 2018.

[7] M. Moayedfar and M. K. Assadi, “Various types of anti-reflective coatings (ARCS) Based on the layer composition and surface topography: A review,” Rev. Adv. Mater. Sci., vol. 53, no. 2, pp. 187–205, 2018.

[8] J.-I. Kang et al., “Enhanced UV absorption of GaN photodiodes with a ZnO quantum dot coating layer,” Opt. Express, vol. 26, no. 7, p. 8296, 2018.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.